HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	生物の凍結過程の分析　ＸⅡ．：クワの枝の凍結曲線
Author(s)	青木，廉
Citation	低温科學．生物篇，13，1-12
Issue Date	1955-12-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17573
Type	departmental bulletin paper
File Information	13_p1-12.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Kiyoshi AOKI 1955 Analysis of the Freezing Process of Living Organisms XII. The Freezing Curve of the Twig of Mulberry Tree. *Low Temperature Science, Ser. B, 13.* (With English résumé p. 12)

生物の凍結過程の分析 XII.

クワの枝の凍結曲線*,**

青木　廉

(低温科学研究所　生物学部門)

(昭和30年9月受理)

I.

生体で得られる凍結曲線の型は，一定の冷却条件の下では，その中での凍結の進行のしかた，すなわち氷のできかたによつて決まる。著者は柔組織を主とする，だいたい一様の構造を有する植物組織小片の凍結曲線の型の分析を試みた[1),2)]。この場合の小片は5×5×15 mm の角柱で6面ともその表面からある深さにわたつて多くの細胞は傷つけられ又は破壊されており，且つ表層部に inoculate されているので凍結は表面より始まつている。木本の枝の小片の場合は両端の切口を除き表面は無傷であり，その上草本の小片と異なり inoculate されにくいのに加え，内部構造も靱皮部，材部，髄部とはつきり区劃されているので，凍結の進行も場所によつてかなり異なるために凍結曲線の型もまた違つてくる。

冬を越す木本類の枝では草本類と異なつて秋から冬にかけて寒さに対する抵抗性が得られるにつれて凍結曲線の型も著しく変化する。その変化のうち著しいものは冬になると曲線上に明瞭な棘状の突起が現われてくることである。結極これらの変化は氷のでき方に変化が起つたためであり，曲線上の各部分はどこの部分の凍結を現わしているものであるかが明らかになれば，凍結曲線の型の変化から凍結の進行の変化がうかがわれ，耐寒性が得られているか否かを知るうえにもある程度用いられると思われる。この意味でクワの枝について凍結曲線の分析を試みた。

II.

材料はクワ（主として用いた品種はタキノガワ，ヤトメ，ケンモチ***）の1年生の枝の先端より7，8節目から14，5節目にかけての部分で，直径約5～6 mm 程度のところを使用した。実験を行つた時期は主に9月から1月にかけてであつて，北大農学部の桑園から採取後，多く

* 北海道大学低温科学研究所業績　第299号
** 農林省，農業，蚕糸業，林業及び水産業に関する科学研究助成金による。
*** タキノガワはヤトメ，ケンモチに比べて耐寒性が強いと云われている。

の場合数時間以内に実験した。したがつて成長の末期から成長が完全に終了する期間に渉るのでその間に種類によつては構造的にも生理的にもかなり大きな差がみられる。

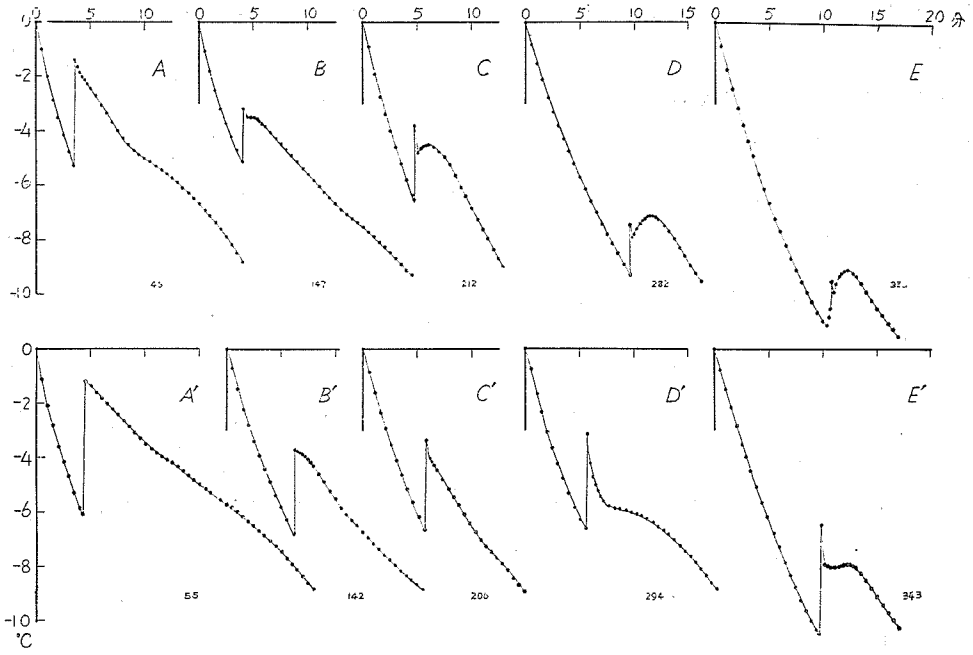
温度の測定法は前報[4]と同様に熱電対（径 0.1 mm 又は 0.2 mm の銅，コンスタンタン）の一方の先端を 15 mm の長さに切りとつた枝の小片の中心部，すなわち髄の中央にくるように挿し込み，光電管を使つてミリアンメーターに自記した。冷却槽の温度は −18～−19°C で，枝小片を包む空気外套の厚さを変えて* 冷却速度を調節した。ふつうは両端の切口をワゼリンで厚く蔽う。inoculation は特殊の場合を除き行わず，自動的に過冷却の破れるのを待つた。冷却速度は 0°C を中心として 1.5～2.0 °C/分 である。また材部の温度を測る場合には予め小孔をあけそこに熱電対を挿し込む。必要に応じて髄部と小片の表面，あるいは髄部と材部に熱電対の両脚を挿しその温度差の変化を測定した。

III.

凍結曲線の型は秋から冬にかけて著しく変化する。その変化の度合は種類によつて異なるが，9 月上旬，枝の生長が完了していない時期，すなわち髄が未だ太く材部の発達の不充分のときにはだいたい同じような型を示し品種間に差はみられない（第 1 図，A と A′）。過冷却が破れた後，急激な温度上昇——ほとんど垂直になつている——があり，頂点に達した後は割合緩やかに温度が下つてくる。しかし 11 月に入ると急激に温度が上昇した後一時急に下降し，あるところにくると温度の下降はほとんど止まるようになる。したがつて曲線上では棘状の突起（以後略して単に棘と呼ぶ）を呈する。タキノガワでは，これに引続き再び緩かな温度上昇がみられ曲線は凸型を呈し（第 1 図，C），この傾向は寒さが加わるにつれて著しくなるが（第 1 図，D），ヤトメ，ケンモチでは 11 月にはまだはつきりした温度下降の停止は認められていない（第 1 図，C′）。その後次第に明瞭になり水平部となつて現われてくるし（第 1 図，D′），1 月に入ると程度は低いがタキノガワと同様に凸型を呈する場合（第 1 図，E′）もしばしば認められるようになる。この実験方法では過冷却の破れる温度を直接比較することは左程意味はないが，タキノガワでは平均 9 月 −3.7°C，10 月 −4.9°C，11 月 −7.2°C，12 月 −8.7°C，1 月 −10.7°C，ヤトメではそれぞれ −3.5°C，−4.4°C，−5.3°C，−5.9°C，−8.5°C となつていて品種によつて差はあるが，過冷却の破れる温度は次第に低くなる傾向がある。とにかく冬になるにつれて曲線上に現われる変化の内，本質的のものは明瞭に棘の現われることであり，棘に続く曲線部の型は品種によつて異なる。

凍結曲線上に変化の現われることは組織内の凍結に遅速が起こる，つまり氷生成速度が時間的に変化することを示すに外ならない。前に述べた棘の部分，それに続く水平部あるいは凸型の部分は枝内のどの部分の凍結に由来するものかが明らかになれば凍結曲線の型から，枝の

* 枝小片を入れてある保護試験官を順次さらに太い試験管，あるいわ真空にしていない魔法瓶に入れ，空気外套の層を重ねていつた。



第 1 圖 凍結曲線の季節的変化

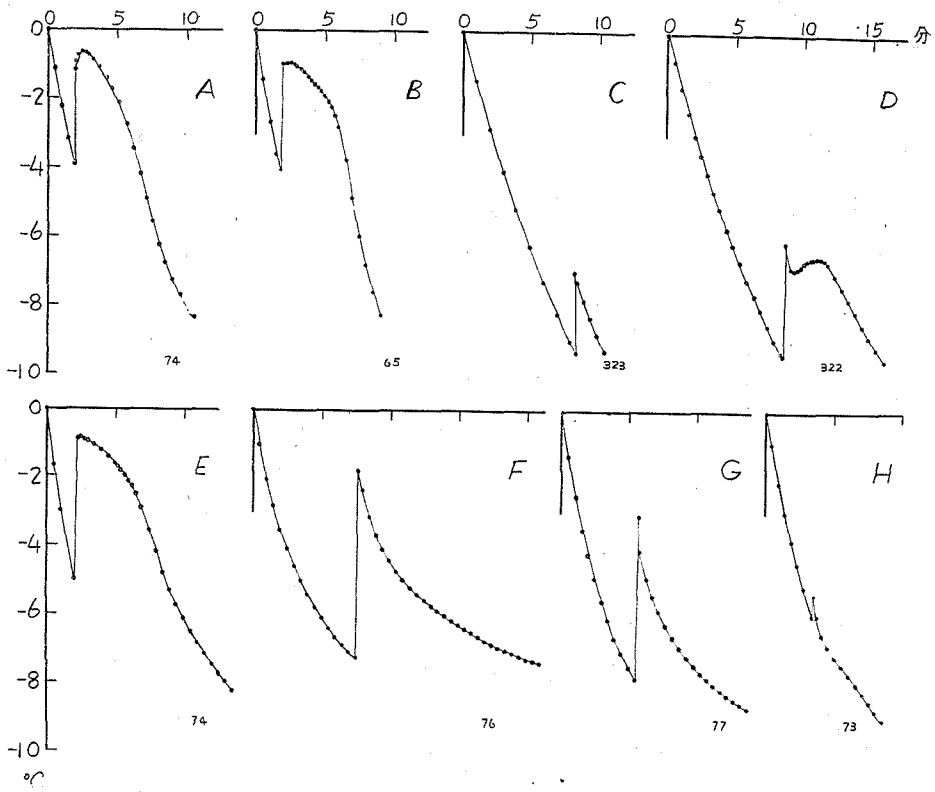
上段 タキノガワ，下段 ヤトメ。A, A′—9月； B, B′—10月； C, C′ —11月； D, D′—12月； E, E′—1月。曲線上の点は 15 秒と 30 秒毎の溫度 (以下各図とも同じ)。

内部における凍結の進行の様子をある程度判定することができるはずである。これらの点を明らかにするために次の実験を行つた。

實驗 1. 靱皮部を除去した枝小片の凍結曲線

実験に用いた枝の部分では全含水量の半分以上約60%は靱皮部に含まれ，残りが材部と髄部に含まれている。また我々の細胞の凍結に関する経験によると生きている細胞内部は一般に凍りにくく，これに反して生きている機能を失つたような細胞内部は凍り易い。このことから靱皮部と内部の材，髄部とはかなり異なつた凍結様式を示す，すなわち氷の生成速度は相当異なることが予想される。そこで靱皮部を除去したばあいの凍結曲線をとつてみた。靱皮部を除去した後，濾紙で表面を拭つてから全面にワゼリンを塗り，熱電対の一脚はふつうのように髄の中心に挿す。 その結果は第 2 図， A と B に示してある通り過冷却の破れた後の急激な温度上昇，それにつづく緩かな下降部が見られ，以後は再び急に温度は下降する。すなわちかなりの凍結の起つたことを示しているが，これは 9 月に行つた実験で，材，髄部の含水量はまだ高くその時期の凍結曲線には (第 1 図, A と A′) 未だ棘が現われていない。 ところが棘のはつきり現われる時期すなわち冬に (第 2 図, D) 靱皮部の除去されたものの曲線では (第 2 図, C) 急激に温度の上昇する点は 9 月の場合と同様であるが，その後の温度の下り方も急激で，この点 9 月のもの (第 2 図, A) とはつきり異なる。過冷却の破れてから急に温度が上昇し直ちに下降す

るということは凍結は一時的に起こりすぐに完了してしまう，すなわち凍結は持続しない。つまり生ずる氷の量は少なく，凍るべき水は短時間の間に全部凍つてしまうことを示している。材，髄部に含まれている水分はタキノガワで9月には全重量の約36%のものが，12月には23%と明らかに減少しているが，なお凍り得る水分が12月でも残つていることになる。かように生じた氷の量が9月と比べ12月には非常に少なくなつていることは，凍結曲線が冷却曲線(過冷却の破れた点から先を外挿して得た曲線，すなわち凍結の起らない場合の曲線)からずれている部分の面積を比較してみれば明らかで，9月の方がはるかに大きい。したがつて材，髄部の凍結がゆるやかな山型となつて現われるか，棘となつて現われるかは，一義的にはその中の含水量如何によることになる。この点は9月のケンモチの実験ではつきり証明されている。すなわち靱皮部を除去した直後にとつた凍結曲線は第2図Eでゆるやかな山となつているが，除去してから室温で乾燥されると次第に凸型の曲線は凹型となり，乾燥の度がすすむにつれて，温度の下り方はさらに急になる結果，遂には短かい棘が現われるに過ぎなくなる（第2図，F,



第2圖 靱皮部を除去した枝の凍結曲線

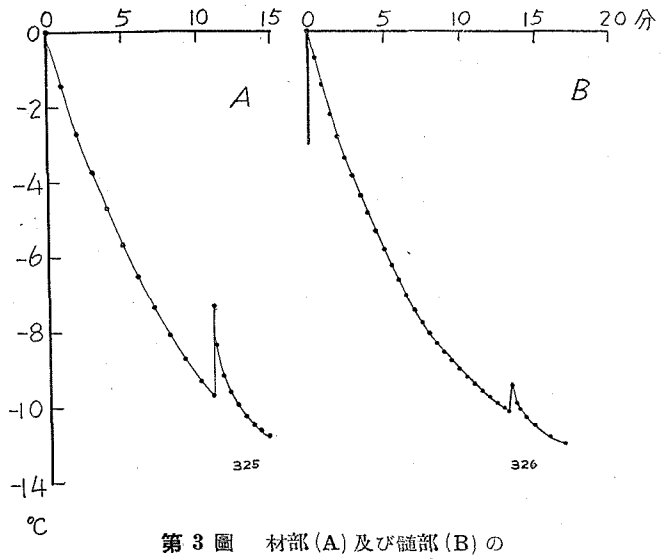
A—ヤトメ(9月)；B—タキノガワ(9月)；C—タキノガワ(12月)；D—タキノガワ(12月)靱皮部のついたもの(対照)；E—ケンモチ9月，靱皮部を剝いだもの；F—靱皮部を剝ぎ18℃で125分乾燥，223 mg→184 mg；G—18°で210分乾燥，242 mg→184 mg；H—19℃で260分乾燥，430 mg→304 mg。

G, H)。すなわち冬になつて材，髄部の凍結が単なる棘として現われることは凍り得る水分が少なくなり，且つそれは短時間の間に連続的に凍りきつてしまうと考えられる。

靱皮部の有無によつて凍結曲線に現われる最も大きな差は，冬の材料にはつきり認められるように，棘につづく凍結部の有無である。第2図，Dは12月におけるタキノガワの靱皮部の付いている小片の凍結曲線で，同一枝の次の節の靱皮部を除去したものの曲線はCであり，共に棘は同様に現われているが，靱皮部のある方(D)のみに棘につづく山型の凍結部がはつきりと現われている。ヤトメ，ケンモチその他の種類でも同様である。材，髄部の含水量の減つている時期には靱皮部を除去すると，棘さえ現われない場合もある。以上の事実から棘として現われる凍結につづいて起る凍結，すなわち平坦部あるいは凸部として認められる部分は靱皮部の凍結に由来するものであると結論される。

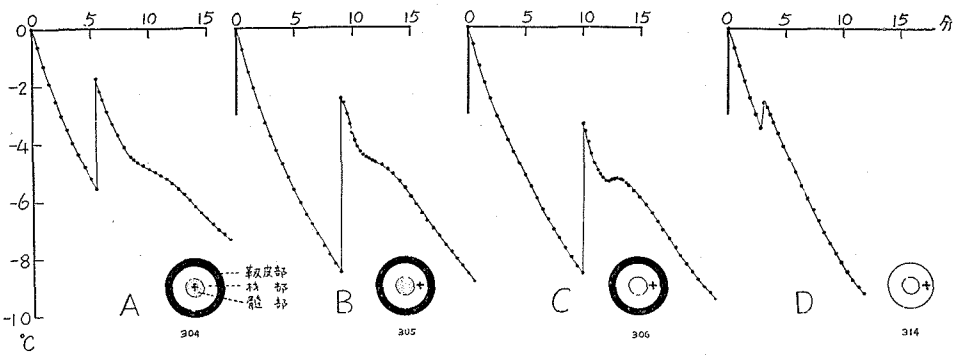
實驗 2. 材部，髄部の凍結

実験1では靱皮部のみを除去し，髄部の中心に熱電対を挿入してあるので，現われた凍結は材部に起つたものか，髄部に起つたものかは不明である。この点を明らかにするために材部及び髄部について別々に凍結曲線をとつてみた結果が第3図及び第4図である。第3図のAは三つ割りにした枝の小片の靱皮部及び髄部を取除き，材部の中心に熱電対を挿入した場合の凍結曲線であり，第4図，Dは枝の小片の靱皮部及び髄部を完全に除去し，髄を抜いた孔にはワリゼンを詰め，材部に熱電対を挿した場合である。いずれも全表面にはワゼリンを塗つておく。共に一過性の棘状のものではあるが，明らかに凍結の起こつたことが認められる。第3図のBは径約3 mm，長さ10 mmの髄の中心に熱電対を挿して得られた凍結曲線で，材部よりは小さいがやはり棘状に凍結が現われている。以上の実験では用いた材料の型，大きさが異なるので凍結部の型の比較等は意味がなく，ただ凍結の起つたか否かを知ることができるに過ぎない。



第 3 圖 材部(A)及び髄部(B)の凍結曲線(タキノガワ 12 月)

以上の実験の示すように材部及び髄部には凍結の起こることは明らかであるが，どちらの部分により多くの凍結が起る，つまりより多く氷が生成されたかが問題となる。しかし12月の



第 4 圖 熱電対を材部に挿入したばあいの凍結曲線 (タキノガワ 12 月)

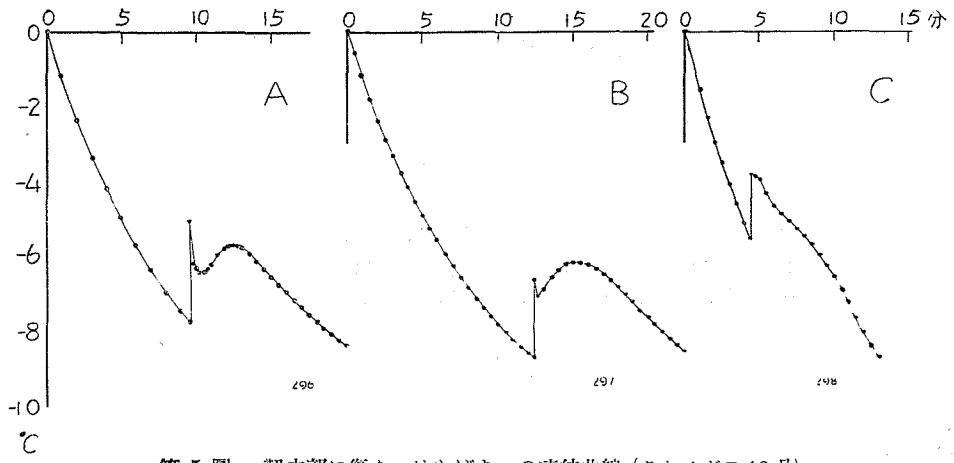
A—熱電対を髄部に挿入(対照); B—熱電対を材部に挿入; C—髄部のみを除去したばあい; D—靱皮部及び髄部を除去したばあい。＋印は熱電対挿入の位置を示す。

タキノガワではこの両部分に含まれている水分の内 75～80% は材部にあるので材部の凍結が主となつていると考えられる。このことは第 4 図の実験からもうかがえる。この実験に用いた材料は 12 月 10 日に桑園より採取してから水挿しをし 5 日間, 室内に置いたため, 枝内の水分分布が変つたとみえて第 1 図 D (12 月) とはいささか違つている。髄部を予め完全に除去しその孔にワゼリンを詰め熱電対を材部に挿して測つた場合は, 靱皮部の有無によつて曲線の型はまるで異なつているが (第 4 図 C と D との比較), 靱皮部がついているときには髄部の有無の影響はあまり曲線上には現われていない (第 4 図 B と C の比較)。この事実は髄部の凍結は僅かで全体に影響を与える程度のものでないことを示すものといえよう。

以上の実験から少なくも過冷却の破れた後の温度の急上昇は靱皮部を除いた枝の内部, つまり材部, 髄部の凍結に由来するものということができる。

實驗 3. 凍結が枝小片の内部より始まることを示す實驗

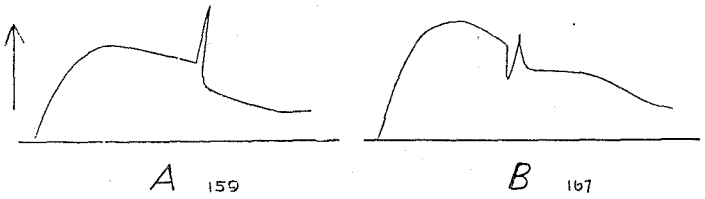
実験 1 及び 2 の結果から, 切りとられた枝の小片では凍結は熱電対を挿し込んだ中心部に始まり次いで靱皮部に進行していくもので, 内部すなわち材, 髄部の凍結が凍結曲線上に急激な温度上昇, あるいは棘状の突起として現われると解釋される。したがつて内部から凍結が始まり棘の現われるような枝でも, もし靱皮部から凍結が開始すれば棘は現われてこないはずである。このことを確かめるため次の実験を行つた。ところが温度を測るさいには髄部に比較的大きい熱電対を挿し込むので髄部は機械的にかなりの範囲にわたつて破壊されている。このために熱電対附近から過冷却が破れやすいので, それより早く靱皮部を凍らせるためには特別の方法を講じなければならない。そこで小片の靱皮部を幅 1 mm, 長さ 5 mm にわたつて剝ぎとり, 大きく傷をつけ過冷却の早く破れる個所を作つてみた。その結果は第 5 図 A で, 傷をつけないものと本質的の差は殆んど認められない。つまり枝の内部より凍結が始まり, それが靱皮部に進行して行つたと考えられる。結極, 傷をつけただけでは傷口から inoculate されなか



第 5 圖 靱皮部に傷をつけたばあいの凍結曲線 (タキノガワ 12 月)
A—1×5 mm の靱皮部を除去したばあい；B—傷口の面に小水滴をつけたばあい；
C—傷口の表面に水膜をつけたばあい。

つたことになる。傷口には，切りとられる際，にじみ出た細胞液があるが，それが薄いフイルム状になつていたために，なかなか過冷却が破れず，そのうちに内部熱電対附近の方が先きに凍り始めたと思われる。次いで同様に作つた傷口の上に小水滴をつけてみたが，inoculation の作用はなく，曲線の型 (B) はやはり対照と同様であつた。傷口から早く凍り出すように傷口一ぱいに厚い水膜をつけてみた結果が第 5 図，C で，棘は認められず，それに続く凸型の部分も現われていないし，また過冷却も高い温度で破れている。この場合も過冷却の破れた後急激な温度上昇が見られるが，これは傷口につけられた水が急に凍結したことに由来するものである。そして靱皮部が完全に凍結しきらないうちに，凍結は凍りやすい部分を伝わつて内部に進行し，その両者の凍結が重なつて現われたために棘は現われず，幅の広い突起となつたと考えられる。この場合凍結が靱皮部から始まつていることは後に述べる実験からも明らかである。熱電対の一方を今まで通り髄部に挿し，他方を枝の表面に捲きつけ*，どちらの熱電対の近くから凍結が始まるか温度差の変化を測定してみた。凍結が枝の内部より始まるならば，内部に挿入された熱電対側の温度が靱皮部に接する側に比べ相対的に急に高くなるはずであり，もし靱皮部から凍結が始まるならば逆になる。その曲線は第 6 図 A に示す通り，冷しはじめは外に捲かれた熱電対はむき出しになつているため速く冷えるので，相対的に内部の方が高温になるが，やがて内部も冷えてくるにつれて両者間の温度差は次第に少なくなつてくる。その内急激に内部すなわち髄部に入つている熱電対側が一時急に高温となるが，すぐ元に戻るため棘状を呈する。その後は内外の温度差はどんどん縮まり，しばらくたつと再び開くようになる。すなわち靱皮部が凍つたため表面側の温度が上昇する結果，一時温度差が小さくなつたが，靱皮部の凍結が終つた後は表面に露出されている熱電対の方が外囲より連続的に冷されているため

* 熱電対と枝の表面との接触をよくするために，その間にシリコン油をつけた。



第 6 圖 熱電対の両脚を髄部と表面につけたばあいの凍結曲線
↑印の方向は髄部の温度が表面に対して相対的に高くなることを示す。
A—靱皮部無傷；B—靱皮部にナイフで傷を入れた場合。

相対的に内部より低くなつていくと考えられる。程度の差こそあれ 30 例ほとんどこのような型をとつていた。この事実から髄に挿し込んだ熱電対近くから，すなわち枝の内部から凍結の始まることが明らかに証明されたわけで，この実験に用いたような温度測定法では，枝の内部から凍り始めるとみるべきである。

枝の表面の一部をメスで予め縦横に傷をつけ，直ちに前同様に冷しながら表面と髄との間の温度差の変化を測定すると第 6 図の B のようになる。この場合は A とは逆に表面に接している熱電対側の温度が先ず急に高くなり，つづいて髄の方が高くなる。すなわち定性的にではあるが，靱皮部が先ず凍り，つづいて内部にしかもかなり速く凍結が進行していつたことは明らかである。したがつて第 5 図 C の場合もこれと同様に靱皮部から材，髄部に凍結が進行したと考えてよい。

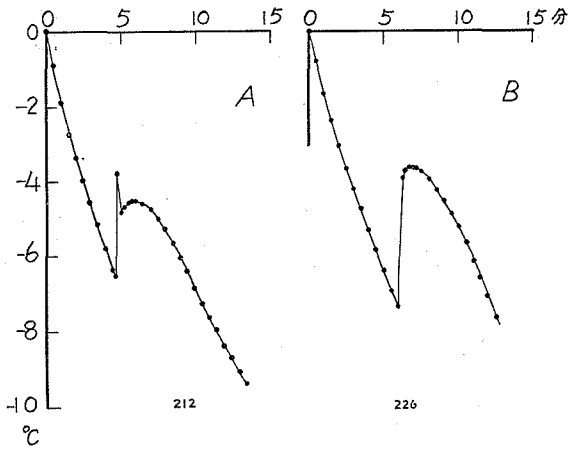
IV.

組織小片なり，枝の小片の温度変化を測定する場合，多くは熱電対の一方をその中心部に挿入し，中心部の温度変化を測つているのである。熱電対を挿し込むことによつて中心部のある範囲内の細胞が機械的に破壊されることはどうしても避けられない。一方今までの多くの経験によると破壊されている細胞，あるいは組織では過冷却は破れやすい，つまり無傷のものと比べると高い温度で凍り始める。しかも熱の導体である熱電対が挿入されているときには，それに接する部分はより速く冷されることとなり，その他の部分より冷却速度が大きいことも過冷却の容易に破れる一つの原因になつている。したがつて熱電対が直接組織内に挿入されている場合には自動的に過冷却の破れる可能性は熱電対附近に一番多いのは当然である。全表面切口である切りとられた組織小片と比べて，両端の切口を除き他は無傷の木の枝の小片においては特に挿入された熱電対附近から凍結の始まる可能性ははるかに大きいにちがいない。事実，上に述べた実験結果はこのことをはつきり裏書きしている。したがつて木の小枝の小片ではふつう凍結は髄部→材部→靱皮部と進行するものと考えられ，このように考えると凍結曲線の型も定性的には一応説明できる。

たとえばタキノガワの 12 月における凍結曲線（第 1 図，D），すなわち最初，棘が現われ，つづいて山型の部分の現われるものは次のように解釈される。先ず枝の内部，すなわち材，髄部

が凍り温度は急に上昇する。しかし靱皮部の細胞は凍りにくいために，内部が凍つた後凍結の進行は一時停止するか，あるいわ非常に遅くなるため，氷の生成は一時中断される結果，温度は再び急に下降する。これが曲線上に棘として現われる部分である。そして靱皮部の過冷却度がある点まで下ると，靱皮部が凍り出すが過冷却度が大きいため凍結は相当活潑であり，その結果温度の下降は急に緩かになる。この部分が凸型を呈するか，水平部となつて現われるかは靱皮部内での氷生成速度と外囲に奪われる熱量との関係によつて決まることで，氷生成速度が凍り始めてから一時高まるか又は一定かによつて凸型となり，又水平部あるいは緩かな下降部を示すようになる。一般に靱皮部の細胞が凍りにくいとき，つまり過冷却度が大きくなつて初めて凍り出すばあいに凸型が現われる。

次に靱皮部の細胞が凍りやすい場合，すなわち過冷却度が小さいときに凍り始めるようなものでは，髄，材部の凍結に引きつづいて靱皮部の細胞は凍り始める。つまり枝の内部の凍結後それは殆んど中断されることがなく，いいかえると氷は連続的に靱皮部に生成されるため枝の内部の急激な凍結によつて上昇した温度は急に下降しない。しかし氷の生成速度は髄，材部に比べれば靱皮部ではかなり遅いため温度は除々に下るので棘は全く認められないこととなると解釈される。しかし温度が急上昇しきつてから急に下降しないとはいえ頂点の温度を持続するとか，あるいは極端に除々に下降することはないので一般に尖つている。この事実は材部より靱皮部へ凍結が連続的に進行するといつても，そこでいくらか抵抗を受けて非常に短かい時間ではあろうが，一時止められることを示している。



第 7 圖 初凍結曲線と再結凍曲線の比較
(タキノガワ 11 月)

A—初凍結曲線；B——24℃で 22 時間凍結，融解してから 4 時間後にとつた再凍曲線。

完全に凍結した枝では生活機能を有していた大部分の細胞は破壊されるか死んでしまう。このような細胞は非常に凍りやすい。したがつて予め完全に凍結した枝を融かし再び凍らすと，この枝の靱皮部は夏の枝におけるよりも遙かに凍りやすい，つまり材部から連続的に凍結が靱皮部に進行する。すなわち両者の凍結の間に溝が全くなくなるために頂点部は尖ることがなく円味を呈すると考えられる。事実第 1 回の凍結が充分である場合は，再凍結曲線の凍結部は必らず円頂型となつている (第 7 図, B)。

以上のように考えると凍結曲線に棘の現われるか否かは靱皮部が凍りやすいか否かによつて決定され，また棘に続く部分が山型を呈するかあるいわ水平になるかは，また靱皮部の細胞

がよく過冷却されるかどうかによつて決まる。棘の高さは材，髄部の含水量の大小と過冷却の破れる温度によつて左右されるために[6]，乾燥し内部の凍り得る水が少ないときには棘の高さは低くなり，ほとんど認められない場合もある。したがつて棘がはつきり出てそれに続く部分が水平もしくわ山型を呈する場合は靱皮部は凍りにくいといえるし，棘が全く現われず，片側がほとんど垂直で他の側がゆるやかな山型となる場合は靱皮部は凍りやすい状態であるということができる。つまり凍結曲線の型から靱皮部の凍結の難易が判定できる。タキノガワの枝の凍結曲線が9月には一方側の垂直に近い山型の曲線となること，12月には明らかな棘とそれにつづく山型の部分とからなる曲線を示すことも靱皮部の細胞の凍結様式と矛盾することなく説明できる。

1月のタキノガワの示す凍結曲線（第1図，E）は様子が異なつている。過冷却が破れた後，急激な温度上昇は起こらず，わりあい緩かに温度が昇り円味をおびた山型を呈しているが，その上昇の途中に短かい棘が現われている。この棘の出る場所は不定で，その数も一つとは限らない。3つ位出ることもあるが，このような時には非常に短かい。このような傾向の凍結曲線は3月頃まで得られる。これらの曲線で過冷却の破れた後の温度上昇速度からみると，山型の部分は靱皮部の凍結であり，棘は材，髄部の凍結としか考えられない。そうすると棘の現われる位置が不定ということは材，髄部に容易に凍り得る水が非常に少なくなつているため，挿し込まれた熱電対の附近から過冷却は破れず，靱皮部から凍結が始まり，逆に材部が inoculate されて急激な凍結が起ると考えれば一応の説明はつくし，また材部においては水が局在しているとすれば棘の数が複数になることも了解される。

柔組織を主とした部分からきりとられた小片について得られた凍結曲線では木の枝の場合とかなり様子が異なつている[1),5)]。その原因の一つは組織小片では全表面が切口であることと，ある温度で表層部より凍結が始まるように人工的に inoculate した点にある。したがつて凍結はいつも表層部から始まつて内部の無傷の部分に進む。組織小片を切りとる際に表面よりある深さにわたつて多くの細胞は傷つけらたまたは破壊されているため，表層部及び熱電対挿入の際破壊された中心部の細胞群では凍結の進行は非常に速いが，無傷の部分ではこれと比べるとずつと遅い。凍結の進行が木の枝の場合と丁度逆になつている。凍結の進行の速い部分と遅い部分のあることは両者に共通であるが，両部分の割合及び冷される方向に向つての両部分の相対的の位置の差によつて草本の組織小片と木の枝の凍結曲線の型が異なつてくるのである。

テーブルビートの組織小片の凍結曲線[5)]では耐凍性のないときには棘が認められるが，耐凍性を得てくると全く現われなくなる。この点もクワの場合と丁度反対になつている。これについての説明はクワの靱皮部の諸種細胞の凍結様式がもつと明らかになるまでは残された問題である。

実験材料について種々便宜を与えられた北大農学部滝沢助教授及び附属桑園の越山氏に感謝する。

摘　要

クワ（品種名 タキノガワ，ヤトメ，ケンモチの3種）の1年生の枝の小片（径5～6 mm，長さ15 mm）の凍結曲線の分析を行つた。

枝の小片の髄の中心に熱電対を挿入して得られた凍結曲線を比較すると，寒さの来る前9月と冬の12月とでははつきりと差が認められる。前者では過冷却が自動的に破れ温度は急上昇した後，徐々に下降するため一方側が殆んど垂直の山型を呈するが，後者では急上昇した温度は直ちに再び急激にある程度下降すると温度の低下は止まり一時一定温度を保つか，あるいは僅かながら再び上昇する。そのため曲線には棘状の突起が現われ，それにつづく部分は水平部またはゆるやかな山型を呈する。

曲線上の過冷却の破れた後，急上昇する部分は材，髄部の凍結によるもので，それに続く部分は靱皮部の凍結に由来する。材，髄部より靱皮部に凍結が連続的に進行しない場合，すなわち靱皮部が凍りにくいときには棘状突起が現われ水平部がそれに続く。靱皮部が凍りやすい場合，すなわち材，髄部から靱皮部に凍結が連続的に進行するときには棘状突起は現われず単一の山型となる。したがつて凍結曲線上の棘状突起の有無，それに続く部分の型によつて靱皮部の凍結の難易が判定できる。

文　献

1) 青木　廉 1948 生物の凍結過程の分析 III. 植物組織の凍結曲線上の二つの氷点. 低温科学, ***4***, 65.
2) ———— 1948 生物の凍結過程の分析 IV. 植物凍結曲線分析の一方法. 低温科学, ***4***, 79.
3) ———— 1949 植物組織の凍結曲線. 生物学の進歩, ***4***, 145.
4) ———— 1950 馬鈴薯塊茎の再凍結曲線の型について. 低温科学, ***3***, 209.
5) 青木廉·朝比奈英三·照本勳 1953 生物の凍結過程の分析 IX. 植物の耐凍性と凍結曲線の型. 低温科学, ***10***, 69.
6) 照本　勳 1953 生物の凍結過程の分析 XI. 植物組織の第一氷点の意義について. 低温科学, ***10***, 93.

Résumé

The shape was analysed of the curve of the freezing of a twig piece of mulberry tree (5～6 mm in diameter, 15 mm in length). In September the curves are single as shown in Fig. 1 A, but under completely hardened state in December, a clear spike followed by gentle convex or horizontal part appears on the curve (Fig. 1 D).

From the various experiments on twig pieces in winter, the following conclusions were drawn. In the twig piece the freezing begins in the interior, propagating to the pripheral cortex under the experimental condition when the thermojunction is alwasy inserted in the center of the pith. The abrupt rise of temperature immediately after setting free from supercooling is due to the latent heat liberated by the freezing of xylem and pith of the twig piece, and the nearly constant temperature, i.e. the horizontal or convex part of the freezing curve, is the result of the freezing of the cortex.

The appearance of the spike on the freezing curve, from these facts, may be explained as follows. When the freezing can not easily propagate from the xylem to the cortex, that is, when the cortex is hard to freez, a clear spike appears, followed by the convex or horizontal part as the result of the freezing of the cortex at lower temperatures. This is the case in the twig piece in winter. On the contrary, in September, the freezing continuously propagates from xylem to cortex, the spike not appearing as such, because the propagation of the freezing is not interrupted at the boundary between cortex and xylem, resulting in a continuous liberation of latent heat at ice formation.

Consequently the difficulty of freezing of the cortex part may be judged by the appearance or non-appearance of the spike and further by the fact whether the shape of the portion of the curve follwing immediately after the spike is convex or horizontal.